

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU <sup>(11)</sup> **2 439 772** <sup>(13)</sup> C2ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

[H02M 7/42 \(2006.01\)](#)[H02M 7/53 \(2006.01\)](#)[H02M 7/487 \(2007.01\)](#)[H05B 6/04 \(2006.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 07.06.2016)  
Пошлина: учтена за 4 год с 02.06.2012 по 01.06.2013(21)(22) Заявка: [2009120807/07](#), 01.06.2009(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
01.06.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.06.2009

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2010 Бюл. № 34

(45) Опубликовано: [10.01.2012](#) Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2006133648 A, 27.03.2006. RU 10311 U1, 16.06.1999. US 2003016724 A1, 23.01.2003. DE 3710085 A1, 13.12.1988. JP 2008185850 A, 14.08.2008. WO 0028787 A1, 18.05.2000.

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,  
центр интеллектуальной собственности,  
Т.В. Маркс

(72) Автор(ы):

Лузгин Владислав Игоревич (RU),  
Петров Александр Юрьевич (RU),  
Черных Илья Викторович (RU),  
Шипицын Виктор Васильевич (RU),  
Лопатин Иван Евгеньевич (RU)

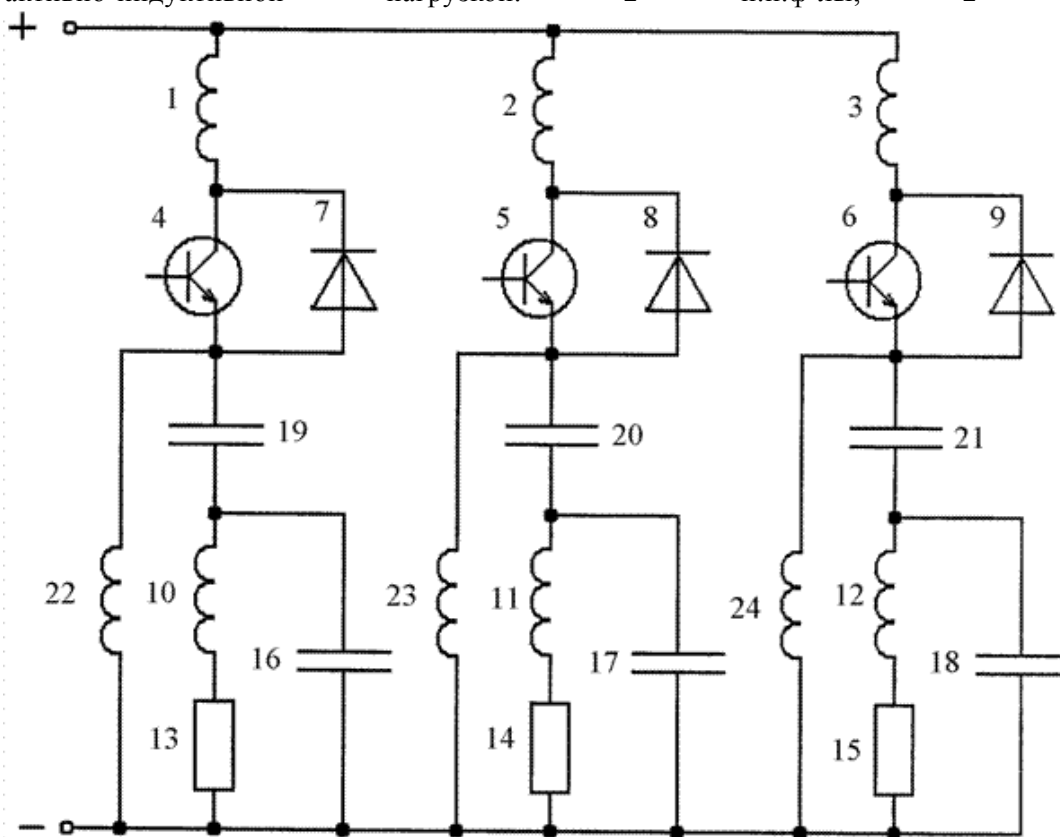
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.  
Ельцина" (RU)(54) ТРЕХФАЗНЫЙ С НУЛЕВЫМ ВЫВОДОМ ДВУХЧАСТОТНЫЙ ИНВЕРТОР НАПРЯЖЕНИЯ  
ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА (ВАРИАНТЫ)

## (57) Реферат:

Изобретение относится к преобразовательной технике и может быть использовано в установках для индукционного нагрева и плавки металлов. Технический результат заключается в одновременном генерировании высокочастотного и низкочастотного трехфазного электромагнитных полей и упрощении. Трехфазный с нулевым выводом двухчастотный инвертор напряжения состоит из трех однофазных однотактных инверторов, каждый из которых состоит из последовательно соединенных подстроечного дросселя, транзистора, однофазной активно-индуктивной нагрузки и компенсирующего конденсатора. Все инверторы подсоединены к источнику постоянного напряжения с образованием из трех однофазных активно-индуктивных нагрузок трехфазной активно-индуктивной нагрузки, включенной по схеме «звезда». Все транзисторы включены в прямом направлении по отношению к полярности источника постоянного напряжения и зашунтированы встречными диодами, а однофазные активно-индуктивные нагрузки зашунтированы компенсирующими конденсаторами. Трехфазный с нулевым выводом двухчастотный инвертор

напряжения дополнительно снабжен тремя контурами, каждый из которых состоит из конденсатора и дросселя, при этом в каждом контуре конденсатор включен между транзистором и активно-индуктивной нагрузкой, а дроссель включен параллельно цепи, образованной последовательно соединенными упомянутым конденсатором и активно-индуктивной нагрузкой. 2 н.п.ф-лы, 2 ил.



Фиг. 2

Предлагаемое изобретение относится к преобразовательной технике и может быть использовано в установках для индукционного нагрева и плавки металлов.

Известно, что при индукционном нагреве и плавке металлов широко применяется параллельный инвертор, который является аналогом предлагаемому изобретению (Приложение 1, Л.1. Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок. Е.И.Беркович и др. - 2-е изд. доп. и перераб. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1983, стр.16, рис.2.1).

Известно, что в одночастотном электромагнитном поле расплавленный металл в нагрузке-индукторе под действием электромагнитных сил движется в нижней части индуктора около стенок снизу вверх, а около оси индуктора сверху вниз, в верхней же части индуктора металл около стенок индуктора движется сверху вниз, а около оси индуктора - снизу вверх, т.е. создается два контура циркуляции. В результате этого движения происходит перемешивание жидкого металла, что улучшает его качество (Приложение 2. Л.2, Шамов А.Н., Бодажков В.А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. Изд. 2-е перераб. и доп. - Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отделение), 1974, стр.45, рис.22). Однако при двух контурах циркуляции перемешивание металла не эффективно, поэтому для повышения эффективности электромагнитного перемешивания металла целесообразно применение наряду с высокочастотным электромагнитным полем низкочастотного многофазного электромагнитного поля (Л.2). В Л.3 для этого предлагается использовать два генератора - один высокочастотный для индукционного нагрева и плавки металла, а второй низкочастотный трехфазный - для электромагнитного перемешивания этого металла (Л.3. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. - М.: Энергия, 1967), что также является аналогом предлагаемому изобретению. Однако это увеличивает установленную мощность нагревательного оборудования и требует в течение электротехнологического процесса плавки металла переключений в силовых цепях, что усложняет нагревательное оборудование.

Таким образом, известные аналоги предлагаемому изобретению не обеспечивают достижение заявленного технического результата - одновременное генерирование высокочастотного и многофазного низкочастотного электромагнитных полей и упрощение. Поэтому в качестве прототипа выбран трехфазный с нулевым выводом

инвертор (Приложение 3. Л.4. Чиженко И.М., Руденко В.С., Сенько В.И. Основы преобразовательной техники. Учебное пособие для специальности «Промышленная электроника», М., «Высшая школа», 1974, стр.227, рис.8.4, е). Однако прототип также не обеспечивает достижение заявленного выше упомянутого технического результата.

Таким образом, известные аналоги и известный прототип имеют недостатки, которые заключаются в том, что они не могут генерировать одновременно высокочастотное электромагнитное поле и многофазное низкочастотное электромагнитное поле либо рекомендуют для этого применение двух генераторов, т.е. они не обеспечивают достижение заявленного технического результата, заключающегося в одновременном генерировании и высокочастотного и многофазного низкочастотного электромагнитных полей и упрощении.

Предлагаемое изобретение решает задачу создания многофазного двухчастотного инвертора напряжения для индукционного нагрева, осуществление которой позволяет достичь заявленного технического результата, заключающегося в возможности одновременного генерирования высокочастотного и низкочастотного многофазного электромагнитных полей и упрощении.

Сущность предлагаемого изобретения - трехфазного с нулевым выводом двухчастотного инвертора напряжения для индукционного нагрева, выполненного по первому варианту, заключается в том, что в инвертор, содержащий источник постоянного напряжения, три управляемых вентиля и три однофазных активно-индуктивных нагрузки, при этом трехфазный инвертор состоит из трех однофазных однотактных инверторов, каждый из которых состоит из управляемого вентиля, последовательно с которым соединена однофазная активно-индуктивная нагрузка, при этом все однофазные однотактные инверторы подсоединены к источнику постоянного напряжения с образованием из трех однофазных активно-индуктивных нагрузок трехфазной активно-индуктивной нагрузки, включенной, например, по схеме «звезда», при этом все управляемые вентили заменены полностью управляемыми, например, транзисторами и включены в прямом направлении по отношению к полярности источника постоянного напряжения, дополнительно введены три подстроечных дросселя, три диода и три компенсирующих конденсатора, при этом с первым (положительным) полюсом источника постоянного напряжения соединены первые выводы трех подстроечных дросселей, вторые выводы которых соединены с первыми выводами трех транзисторов, каждый из трех диодов подключен встречно-параллельно одному из транзисторов, каждый из трех компенсирующих конденсаторов подключен параллельно одной из однофазных активно-индуктивных нагрузок.

Сущность предлагаемого изобретения, выполненного по второму варианту, заключается в том, что в инвертор, выполненный по первому варианту, введены три дополнительных конденсатора и три дополнительных дросселя, при этом с вторыми выводами трех транзисторов соединены первые выводы трех дополнительных конденсаторов, вторые выводы которых соединены с первыми выводами трех однофазных активно-индуктивных нагрузок, при этом с первыми выводами трех дополнительных конденсаторов соединены первые выводы трех дополнительных дросселей, вторые выводы которых соединены с вторыми выводами трех однофазных активно-индуктивных нагрузок.

Заявленный технический результат - одновременное генерирование высокочастотного и низкочастотного многофазного электромагнитных полей и упрощение (т.к. эти поля генерируются одним инвертором), достигается следующим образом. В каждом однофазном однотактном инверторе путем многократного открывания и закрывания транзисторов в первом варианте трехфазного инвертора формируются пачки высокочастотных импульсов тока, в которых частота высокочастотного электромагнитного поля определяется частотой отпираания и запираания транзисторов, а количество пачек в единицу времени определяет частоту низкочастотного электромагнитного поля, при этом сдвиг во времени формирования пачек высокочастотных импульсов тока в разных однофазных инверторах, в данном случае в трех инверторах, обеспечивает многофазное, в данном случае трехфазное низкочастотное электромагнитное поле. Во втором варианте трехфазного инвертора за счет введения контуров из дополнительных конденсаторов и дросселей, собственная частота которых равна частоте низкочастотного электромагнитного поля, это низкочастотное электромагнитное поле усиливается. Таким образом, заявленный трехфазный с нулевым выводом двухчастотный инвертор напряжения для индукционного нагрева металлов обеспечивает достижение заявленного технического результата - одновременное генерирование высокочастотного и многофазного низкочастотного электромагнитных полей и упрощение.

На фиг.1 и 2 приведены соответственно первый и второй варианты предложенных инверторов напряжения. Трехфазный инвертор, приведенный на фиг.1, содержит источник постоянного напряжения, первый 1, второй 2 и третий 3 подстроечные дроссели, первый 4, второй 5 и третий 6 транзисторы, первый 7, второй 8 и третий 9 диоды, первую 10-13, вторую 11-14 и третью 12-15 однофазные активно-индуктивные нагрузки, а также первый 16, второй 17 и третий 18 компенсирующие конденсаторы, при этом трехфазный инвертор состоит из трех однофазных однотактных инверторов, первого, содержащего элементы 1, 4, 7, 10-13, 16, второго, содержащего элементы 2, 5, 8, 11-14, 17 и третьего, содержащего элементы 3, 6, 9, 12-15, 18, при этом к первому (положительному) полюсу источника постоянного напряжения подсоединены первыми выводами подстроечные дроссели 1, 2 и 3, вторые выводы которых соединены с первыми выводами транзисторов 4, 5 и 6, вторые выводы которых соединены с первыми выводами однофазных активно-индуктивных нагрузок 10-13, 11-14 и 12-15, вторые выводы которых соединены с вторым (отрицательным) полюсом источника постоянного напряжения, при этом однофазные активно-индуктивные нагрузки 10-13, 11-14 и 12-15 образуют трехфазную активно-индуктивную нагрузку, включенную по схеме «звезда», транзисторы 4, 5 и 6 включены в прямом направлении по отношению к полярности источника постоянного напряжения, диоды 7, 8 и 9 включены встречно-параллельно соответственно транзисторам 4, 5 и 6, а компенсирующие конденсаторы 16, 17 и 18 включены параллельно соответственно однофазным активно-индуктивным нагрузкам 10-13, 11-14 и 12-15.

Инвертор работает следующим образом. Вначале открывается первый транзистор 4 и ток протекает по контуру  $\langle + \rangle - 1 - 4 - \langle - \rangle$ , при этом компенсирующий конденсатор 16 заряжается до напряжения, полярность которого обозначена знаками +, -.

Параметры элементов 1, 10, 13 и 16 выбираются такими, чтобы в упомянутой цепи имел место колебательный режим, при этом длительность протекания тока через транзистор была равна полупериоду частоты высокочастотной составляющей электромагнитного поля  $0,5 T_{вч}$ , а амплитудное значение напряжения на компенсирующем конденсаторе 16 было бы больше, чем напряжение источника питания постоянного напряжения. Следует заметить, что параметры однофазной активно-индуктивной нагрузки 10-13, как и параметры однофазных активно-индуктивных нагрузок 11-14 и 12-15, определяются конструкцией и размерами индукционной печи, которые в свою очередь определяются типом металла и его массой, а параметры подстроечного дросселя 1, а следовательно, и дросселей 2 и 3, а также параметры компенсирующего конденсатора 16, а следовательно, и конденсаторов 17 и 18 выбираются такими, чтобы обеспечить выше отмеченный колебательный режим, при котором имеют место минимальные потери в транзисторах. В этом случае при подходе прямого тока рассматриваемого контура к нулевому значению первый транзистор 4 запирается, а первый компенсирующий конденсатор 16 разряжается по контуру  $\langle - \rangle - 16 - 7 - 1 - \langle + \rangle$  и перезаряжается по контуру 16-10-13-16 до напряжения, полярность которого обозначена знаками (-), (+). На этом заканчивается первый период частоты высокочастотной составляющей электромагнитного поля  $T_{вч}$ . Затем транзистор 4 вновь открывается и вновь закрывается с той же частотой  $f_{вч}$  и т.д. Длительность открытого и закрытого состояния  $0,5 T_{вч}$  транзистора 4, а также количество открываний и закрываний  $n_1$  транзистора 4 определяется тремя факторами: во-первых, принятой частотой  $f_{вч}$  высокочастотной составляющей электромагнитного поля; во-вторых, принятым соотношением  $n_2$  частот высокочастотной составляющей электромагнитного поля  $f_{вч}$  и низкочастотной составляющей электромагнитного поля  $f_{нч}$ :

$$n_2 = \frac{f_{вч}}{f_{нч}} = \frac{T_{нч}}{T_{вч}};$$

в-третьих, принятым алгоритмом генерирования низкочастотной составляющей электромагнитного поля, а именно относительной долей  $n_3$  длительности пачки высокочастотных импульсов тока от длительности периода  $T_{нч}$  низкочастотной составляющей электромагнитного поля, при этом  $n_3$  может изменяться в пределах

$$n_3 = \frac{1}{6} \div \frac{1}{2}.$$

Частота  $f_{вч}$  высокочастотной составляющей электромагнитного поля определяется типом металла или сплава и его массой, а частота  $f_{нч}$  низкочастотной составляющей электромагнитного поля определяется массой этого металла или сплава. Так, например, если принять  $f_{вч}=1000$  Гц, то  $T_{вч}=0,001$  с, а  $0,5 T_{вч}=0,0005$  с.

Если принять  $n_2=60$ , то  $T_{нч}=n_2 T_{вч}=60 \cdot 0,001=0,06$  С. Если принять  $n_3 = \frac{1}{3}$ , то

количество открываний и закрываний транзистора 4 составит

$$n_1 = \frac{T_{нч}}{T_{вч}} \cdot n_3 = \frac{0,06}{0,001} \cdot \frac{1}{3} = 20.$$

После окончания работы транзистора 4 точно по такому же закону работает транзистор 5, а затем транзистор 6. Таким образом, в трехфазной активно-индуктивной нагрузке 10-13, 11-14, 12-15 формируется трехфазное низкочастотное электромагнитное поле частотой  $f_{нч}=16,666$  Гц, что обеспечивает электромагнитное перемешивание металла, при этом в течение каждого  $1/3$  периода низкой частоты  $f_{нч}=16,666$  Гц формируется 20 периодов высокочастотной составляющей электромагнитного поля частотой  $f_{вч}=1000$  Гц, что обеспечивает индукционный нагрев металла.

Второй вариант трехфазного инвертора напряжения приведен на фиг.2 и содержит кроме элементов первого варианта, приведенного на фиг.1, три дополнительных конденсатора 19, 20 и 21, а также три дополнительных дросселя 22, 23 и 24, при этом со вторыми выводами трех транзисторов 4, 5 и 6 соединены первые выводы трех дополнительных конденсаторов 19, 20 и 21, вторые выводы которых соединены с первыми выводами трех однофазных активно-индуктивных нагрузок 10-13, 11-14 и 12-15, при этом с первыми выводами трех дополнительных конденсаторов 19, 20 и 21 соединены первые выводы трех дополнительных дросселей 22, 23 и 24, вторые выводы которых соединены со вторыми выводами трех однофазных активно-индуктивных нагрузок 10-13, 11-14 и 12-15.

Алгоритм работы транзисторов 4, 5 и 6 трехфазного инвертора, выполненного по второму варианту, полностью совпадает с алгоритмом работы этих же транзисторов 4, 5 и 6 трехфазного инвертора, выполненного по первому варианту (фиг.1). Однако дополнительные контуры 19-22, 20-23 и 21-24, собственная частота которых совпадает с частотой  $f_{нч}$  низкочастотной составляющей электромагнитного поля, усиливают эту низкочастотную составляющую. Так, например, при работе транзистора 4 наряду с высокочастотной составляющей тока, пути протекания которого рассмотрены выше, протекает низкочастотный ток по контуру:

$19-22 < \frac{13-10}{16} > 19$ . Аналогично протекают низкочастотные токи при работе

транзистора 5 по контуру:  $20-23 < \frac{14-11}{17} > 20$  и при работе транзистора 6 по контуру

$21-24 < \frac{15-12}{18} > 21$ . Все упомянутые низкочастотные токи, т.е. пачки высокочастотных

импульсов тока, сдвинуты относительно друг друга на  $120^\circ$  эл., по низкой частоте, т.е. они образуют трехфазное низкочастотное электромагнитное поле. Таким образом, в соответствии с заявленным техническим результатом в каждой из однофазных активно-индуктивных нагрузок 10-13, 11-14 и 12-15 формируется обеспечивающее интенсивное плавление металла высокочастотное электромагнитное поле при неоднократном открывании и закрывании соответствующего транзистора с частотой  $f_{вч}$ , а именно при работе транзистора 4 в обмотке 10-13, при работе транзистора 5 в обмотке 11-14 и при работе транзистора 6 в обмотке 12-15 и одновременно во всех трех обмотках 10-13, 11-14 и 12-15 формируется трехфазное низкочастотное электромагнитное поле с частотой  $f_{нч}$ , которое обеспечивает эффективное электромагнитное перемешивание расплавленного металла, т.к. создает один контур циркуляции этого металла по всей высоте плавильной печи.

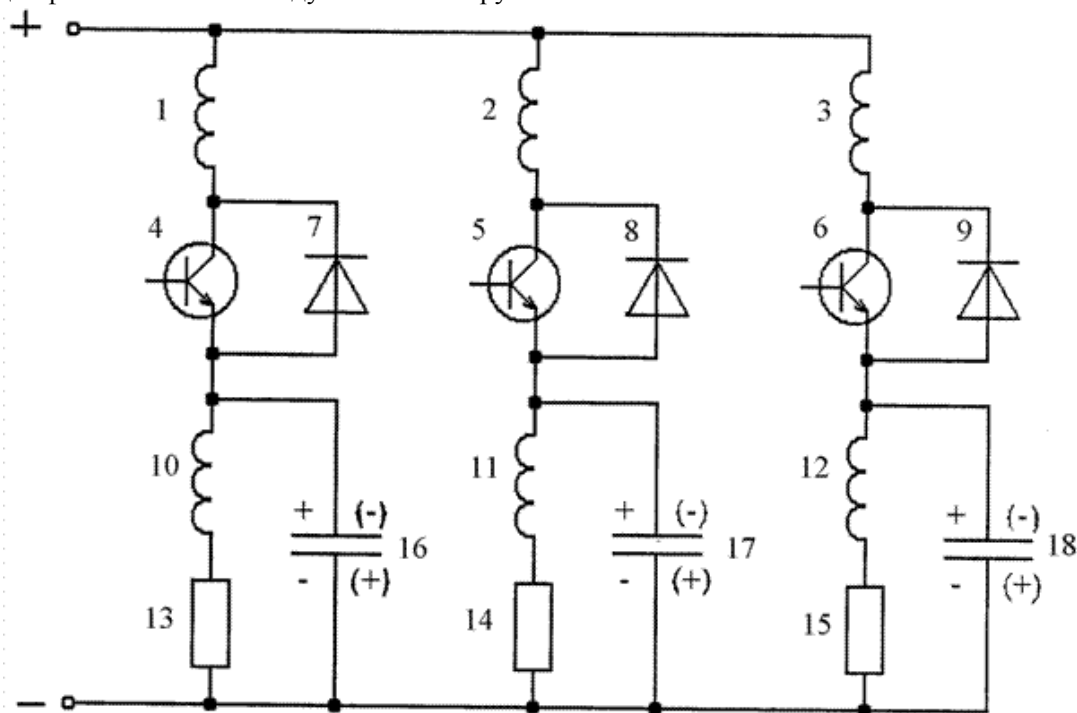
В заключение следует заметить: при изменении полярности источника постоянного напряжения изменяется направление включения транзисторов и диодов; транзисторы и диоды могут быть снабжены известными защитными демпфирующими цепями.

#### Формула изобретения

1. Трехфазный с нулевым выводом двухчастотный инвертор напряжения для индукционного нагрева, содержащий источник постоянного напряжения, три управляемых вентиля и три однофазных активно-индуктивных нагрузки, при этом трехфазный инвертор состоит из трех однофазных одноконтурных инверторов, каждый из которых состоит из управляемого вентиля, последовательно с которым соединена однофазная активно-индуктивная нагрузка, при этом первые выводы трех управляемых вентилях подсоединены к первому полюсу источника постоянного напряжения, а вторые выводы трех однофазных активно-индуктивных нагрузок

соединены с вторым полюсом источника постоянного напряжения, при этом все управляемые вентили включены в прямом направлении по отношению к полярности источника постоянного напряжения, отличающийся тем, что в качестве управляемых вентилях применены транзисторы, а также дополнительно введены три подстроечных дросселя, три диода и три компенсирующих конденсатора, при этом с первым полюсом источника постоянного напряжения соединены первые выводы трех подстроечных дросселей, вторые выводы которых соединены с первыми выводами трех транзисторов, каждый из трех диодов подключен встречно параллельно одному из транзисторов, каждый из трех компенсирующих конденсаторов подключен параллельно одной из однофазных активно-индуктивных нагрузок.

2. Трехфазный с нулевым выводом двухчастотный инвертор напряжения для индукционного нагрева, содержащий источник постоянного напряжения, три управляемых вентиля и три однофазных активно-индуктивных нагрузки, при этом трехфазный инвертор состоит из трех однофазных одноконтурных инверторов, каждый из которых состоит из управляемого вентиля, последовательно с которым соединена однофазная активно-индуктивная нагрузка, при этом первые выводы трех управляемых вентилях подсоединены к первому полюсу источника постоянного напряжения, а вторые выводы трех однофазных активно-индуктивных нагрузок соединены с вторым полюсом источника постоянного напряжения, при этом все управляемые вентили включены в прямом направлении по отношению к полярности источника постоянного напряжения, отличающийся тем, что в качестве управляемых вентилях применены транзисторы, а также дополнительно введены три подстроечных дросселя, три диода и три компенсирующих конденсатора, а также три вторых конденсатора и три вторых дросселя, при этом с первым полюсом источника постоянного напряжения соединены первые выводы трех подстроечных дросселей, вторые выводы которых соединены с первыми выводами трех транзисторов, каждый из трех диодов подключен встречно параллельно одному из транзисторов, каждый из трех компенсирующих конденсаторов подключен параллельно одной из однофазных активно-индуктивных нагрузок, при этом с вторыми выводами трех транзисторов соединены первые выводы трех вторых конденсаторов, вторые выводы которых соединены с первыми выводами трех однофазных активно-индуктивных нагрузок, при этом с первыми выводами трех вторых конденсаторов соединены первые выводы трех вторых дросселей, вторые выводы которых соединены с вторыми выводами трех однофазных активно-индуктивных нагрузок.



Фиг. 1

## ИЗВЕЩЕНИЯ

**ММ4А** Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **02.06.2013**

Дата публикации: [20.04.2014](#)